

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 2 年 1 0 月 2 3 日  
Date of Application:

出 願 番 号                      特 願 2 0 0 2 - 3 0 8 9 5 6  
Application Number:  
[ST. 10/C]:                      [ J P 2 0 0 2 - 3 0 8 9 5 6 ]

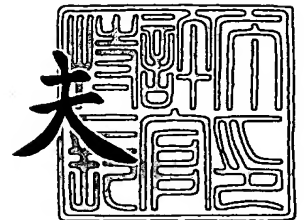
出 願 人                      信越半導体株式会社  
Applicant(s):                      株式会社ナノテコ



2 0 0 3 年    9 月 1 6 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号    出証特 2 0 0 3 - 3 0 7 6 0 3 6

【書類名】 特許願

【整理番号】 AX0222952S

【提出日】 平成14年10月23日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明者】

【住所又は居所】 群馬県安中市磯部二丁目13番1号 信越半導体株式会社 半導体磯部研究所内

【氏名】 能登 宣彦

【発明者】

【住所又は居所】 群馬県安中市磯部二丁目13番1号 信越半導体株式会社 磯部工場内

【氏名】 山田 雅人

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市枳形6-5-2 フローラルガーデン向ヶ丘遊園308

【氏名】 野崎 真次

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区久が原4-5-7

【氏名】 内田 和男

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県鶴ヶ島市鶴が丘27-16-606

【氏名】 森崎 弘

【特許出願人】

【持分】 009/010

【識別番号】 000190149

【氏名又は名称】 信越半導体株式会社

## 【特許出願人】

【持分】 001/010  
【識別番号】 501045021  
【氏名又は名称】 株式会社ナノテコ

## 【代理人】

【識別番号】 100095751  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 菅原 正倫  
【電話番号】 052-212-1301

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 003388  
【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1  
【物件名】 図面 1  
【物件名】 要約書 1  
【包括委任状番号】 9901665  
【包括委任状番号】 0201235

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 発光素子の製造方法及び発光素子

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 発光層成長用基板の主表面に、化合物半導体よりなる発光層部をエピタキシャル成長する発光層部成長工程と、

前記発光層部から前記発光層成長用基板を剥離する剥離工程と、

前記発光層成長用基板の剥離により露出した前記発光層部側の主表面を剥離側主表面として、当該剥離側主表面を、前記発光層部に対して電圧を印加するための透明電極を兼ねた透明導電性酸化物層により被覆する透明導電性酸化物層形成工程と、

前記透明導電性酸化物層形成工程に先立って、該透明導電性酸化物層の接合抵抗を減ずるためのコンタクト層となるべき層を前記剥離側主表面に形成するコンタクト層形成工程と、

を有することを特徴とする発光素子の製造方法。

【請求項 2】 前記発光層部の、前記発光層成長用基板に接しているのと反対の主表面側に導電性基板を貼り合わせることにより、基板貼り合わせ体を作る貼り合わせ工程を含むことを特徴とする請求項 1 記載の発光素子の製造方法。

【請求項 3】 反射層となる金属層を挟んで前記導電性基板を前記発光層部に貼り合わせることを特徴とする請求項 2 記載の発光素子の製造方法。

【請求項 4】 前記導電性基板を Si 基板又は金属基板とすることを特徴とする請求項 3 記載の発光素子の製造方法。

【請求項 5】 前記反射層を Au 系金属層とすることを特徴とする請求項 3 記載の発光素子の製造方法。

【請求項 6】 前記導電性基板を Si 基板とし、前記反射層を前記発光層部と前記 Si 基板とのいずれとも接する Au 系金属層とし、80℃以上360℃以下の貼り合わせ熱処理により、前記 Si 基板と接する Au 系金属層を介して該 Si 基板を前記発光層部に貼り合わせることを特徴とする請求項 3 記載の発光素子の製造方法。

【請求項 7】 前記貼り合わせ熱処理が終了後、前記透明導電性酸化物層を

前記剥離側主表面にスパッタリングにて形成することを特徴とする請求項 6 記載の発光素子の製造方法。

【請求項 8】 前記透明導電性酸化物層を非晶質酸化物層として形成することを特徴とする請求項 7 記載の発光素子の製造方法。

【請求項 9】 前記透明導電性酸化物層を ITO 層とすることを特徴とする請求項 1 ないし 8 のいずれか 1 項に記載の発光素子の製造方法。

【請求項 10】 前記剥離側主表面側にコンタクト層となるべき GaAs 層を形成し、前記透明導電性酸化物層としての ITO 層を当該 GaAs 層と接するように形成した後、熱処理することにより、前記 ITO 層から前記 GaAs 層に In を拡散させて、In を含有した GaAs よりなるコンタクト層となすことを特徴とする請求項 1 ないし 9 のいずれか 1 項に記載の発光素子の製造方法。

【請求項 11】 前記導電性基板を Si 基板とし、80℃以上 360℃以下の貼り合わせ熱処理により、前記 Si 基板と接する Au 系金属層を介して該 Si 基板を前記発光層部に貼り合わせ、その後、前記 GaAs 層に In を拡散させる前記熱処理を行なうことを特徴とする請求項 10 記載の発光素子の製造方法。

【請求項 12】 前記 GaAs 層に In を拡散させる前記熱処理を、600℃以上 750℃以下の温度で 5 秒以上 120 秒以下実施することを特徴とする請求項 10 又は 11 に記載の発光素子の製造方法。

【請求項 13】 導電性基板の一方の主表面上に化合物半導体よりなる発光層部が反射層となる金属層を挟んで貼り合わされ、かつ該発光層部の、前記導電性基板に面しているのと反対側の主表面が、光取出面側電極を兼ねた透明導電性酸化物層により覆われてなり、前記発光層部と前記透明導電性酸化物層との間に、該透明導電性酸化物層の接合抵抗を減ずるためのコンタクト層が、該透明導電性酸化物層に接するように配置されたことを特徴とする発光素子。

【請求項 14】 前記導電性基板を Si 基板又は金属基板とすることを特徴とする請求項 13 記載の発光素子の製造方法。

【請求項 15】 前記反射層は、Au 系金属層であることを特徴とする請求項 13 記載の発光素子。

【請求項 16】 前記導電性基板が Si 基板であり、前記反射層は、前記発

光層部と前記 Si 基板とのいずれとも接する Au 系金属層であることを特徴とする請求項 15 記載の発光素子。

【請求項 17】 前記光取出面側電極を兼ねた透明導電性酸化物層が ITO 層であることを特徴とする請求項 16 記載の発光素子。

【請求項 18】 前記コンタクト層は、前記透明導電性酸化物層との接合界面において Al を含有せず、かつバンドギャップエネルギーが  $1.42\text{ eV}$  より小さい化合物半導体からなることを特徴とする請求項 13 ないし 17 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 19】 前記コンタクト層を構成する化合物半導体は、前記透明導電性酸化物層との接合界面において  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ ) であることを特徴とする請求項 18 記載の発光素子。

【請求項 20】 前記透明導電性酸化物層が ITO 層として形成され、前記発光層部と前記 ITO 層との間に、前記コンタクト層が該 ITO 層と接するように形成され、

前記コンタクト層は、前記透明導電性酸化物層との接合界面において  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ ) であり、かつ厚さ方向における In 濃度分布が、前記 ITO 層から厚さ方向に遠ざかるにつれ連続的に減少するものとされたことを特徴とする請求項 13 ないし 19 のいずれか一項に記載の発光素子。

【請求項 21】 前記発光層部が、 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$  (ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) により、第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有するものとして構成されていることを特徴とする請求項 20 に記載の発光素子。

【請求項 22】 前記透明導電性酸化物層の前記発光層部に面しているのと反対側の主表面に、該発光層部に対して電圧を印加するための金属電極が、該主表面の一部領域を覆う形で形成され、

前記透明導電性酸化物層は、前記金属電極の直下領域からなる第一領域と残余の第二領域とを有し、前記コンタクト層は、前記第二領域において、前記第一領域よりも形成面積率が大きいことを特徴とする請求項 13 ないし 21 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 23】 前記第一領域に前記コンタクト層が形成されていないことを特徴とする請求項 22 記載の発光素子。

【請求項 24】 前記第二領域において少なくとも、前記コンタクト層の形成領域と非形成領域とが混在してなることを特徴とする請求項 22 又は 23 に記載の発光素子。

【請求項 25】 前記コンタクト層の、前記透明導電性酸化物層に接しているのと反対側の主表面に、中間層を介して前記発光層部が結合されてなり、かつ、該中間層が、前記発光層部と前記コンタクト層との中間のバンドギャップエネルギーを有する化合物半導体よりなることを特徴とする請求項 13 ないし 24 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 26】 前記発光層部が、 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$  (ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) よりなり、前記中間層を、 $AlGaAs$  層、 $GaInP$  層及び  $AlGaInP$  層のうち少なくとも一つを含むものとして形成することを特徴とする請求項 25 記載の発光素子。

【請求項 27】 透明導電性半導体基板の一方の主表面上に化合物半導体よりなる発光層部が貼り合わされ、かつ該発光層部の、前記導電性基板に面しているのと反対側の主表面が、光取出面側電極を兼ねた透明導電性酸化物層により覆われてなり、前記発光層部と前記透明導電性酸化物層との間に、該透明導電性酸化物層の接合抵抗を減ずるためのコンタクト層が、該透明導電性酸化物層に接するように配置されたことを特徴とする発光素子。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

この発明は発光素子及び発光素子の製造方法に関する。

##### 【0002】

#### 【従来の技術】

#### 【特許文献 1】

特開平 7-66455 号公報

#### 【特許文献 2】

特開 2001-339100 号公報

## 【0003】

$(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$  (ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ; 以下、 $\text{AlGaInP}$ とも記載する) 混晶により発光層部が形成された発光素子は、薄い $\text{AlGaInP}$ 活性層を、それよりもバンドギャップの大きい $n$ 型 $\text{AlGaInP}$ クラッド層と $p$ 型 $\text{AlGaInP}$ クラッド層とによりサンドイッチ状に挟んだダブルヘテロ構造を採用することにより、高輝度の素子を実現できる。また、近年では、 $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$  (ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $x+y \leq 1$ ; 以下、 $\text{InGaAlN}$ とも記載する) を用いて同様のダブルヘテロ構造を形成した青色発光素子も実用化されている。

## 【0004】

例えば、 $\text{AlGaInP}$ 発光素子を例に取れば、 $n$ 型 $\text{GaAs}$ 基板上にヘテロ形成させる形にて、 $n$ 型 $\text{GaAs}$ バッファ層、 $n$ 型 $\text{AlGaInP}$ クラッド層、 $\text{AlGaInP}$ 活性層、 $p$ 型 $\text{AlGaInP}$ クラッド層をこの順序にて積層し、ダブルヘテロ構造をなす発光層部を形成する。発光層部への通電は、素子表面に形成された金属電極を介して行なわれる。ここで、金属電極は遮光体として作用するため、例えば発光層部主表面の中央部のみを覆う形で形成され、その周囲の電極非形成領域から光を取り出すようにする。

## 【0005】

この場合、金属電極の面積をなるべく小さくしたほうが、電極の周囲に形成される光漏出領域の面積を大きくできるので、光取出し効率を向上させる観点において有利である。従来、電極形状の工夫により、素子内に効果的に電流を拡げて光取出量を増加させる試みがなされているが、この場合も電極面積の増大はいずれにしろ避けがたく、光漏出面積の減少により却って光取出量が制限されるジレンマに陥っている。また、クラッド層のドーパントのキャリア濃度ひいては導電率は、活性層内でのキャリアの発光再結合を最適化するために多少低めに抑えられており、面内方向には電流が広がりにくい傾向がある。これは、電極被覆領域に電流密度が集中し、光漏出領域における実質的な光取出量が低下してしまうことにつながる。そこで、クラッド層と電極との間に、キャリア濃度を高めた低抵



抗率の電流拡散層を形成する方法が採用されている。電流拡散層は、電流拡散効果を十分なものとするために、少なくとも  $5\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$  程度以上の厚みが必要とされ、有機金属気相成長法 (Metalorganic Vapor Phase Epitaxy: MOVPE 法) や、液相エピタキシャル成長法 (Liquid Phase Epitaxy: LPE 法) により形成されている。

#### 【0006】

他方、光取出し効率を向上させるために、発光層部の裏面側に放射される光を光取出面側に反射させて取り出すことができるような素子構造が種々提案されている。この反射層としては、例えば屈折率の異なる層を多数積層した多重反射層 (例えば特許文献 1 参照) が使用されている。このような多重反射層は、発光層部に先立って基板上に化合物半導体薄層をヘテロエピタキシャル成長させることにより形成可能であるが、成長層数が多いので高コストとなりやすい欠点がある。また、多重反射層は積層された半導体層の屈折率の違いを利用するため、限られた角度で入射した光しか反射されず、光取出効率の大幅な向上は原理的に期待できない。他方、特許文献 2 には、金属反射層を基板と発光層部との間に介挿する素子構造が開示されている。金属層は反射率が高く、また、反射率の入射角度依存性あるいは波長依存性が小さい利点がある。しかし、該文献に開示された製造方法においては、発光層部を GaAs 等の発光層成長用基板上にヘテロエピタキシャル成長した後、成長用基板とは反対側の発光層部主表面に、別の導電性基板を、金属層を介して貼り合わせる必要がある。発光層成長用基板はその貼り合わせが終わった後で剥離除去し、その剥離面側を光取出面として利用する。この場合、この剥離面側に電流拡散層を有する構成にするには、発光層成長用基板上に発光層部をヘテロエピタキシャル成長する前に、電流拡散層となる半導体層を予め成長しておく必要がある。

#### 【0007】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記の方法において電流拡散層は、発光層成長用基板への成長初期段階で形成されるので、基板との格子整合条件が必然的に厳しくなり、制約が多い。例えば、GaAs 基板を用いる場合は、これに格子整合可能な電流拡散

層用の化合物半導体は、AlGaAsが数少ない候補となりうる。しかし、AlGaAsはバンドギャップエネルギーが比較的小さく、光吸収の問題が生じやすい（特に、560nm前後の黄緑色の発光波長）。また、Alを含有しているために、以降の発光層をエピタキシャル成長する際に高温酸化の問題も生じやすい。さらに、AlGaAs層をエピタキシャル成長するには高価なMOVPE法による成長工程が増える難点もある。そして、十分に高い電流拡散効果を得るには、電流拡散層を相当厚く成長しなければならないのも大きな欠点である。さらに、電流拡散層はドーパント濃度が高く、この上にエピタキシャル成長した発光層部の品質低下や、電流拡散層から発光層部へのドーパント拡散やオートドーピングも問題となる。

#### 【0008】

本発明の課題は、発光層部から発光層成長用基板を剥離して発光素子を製造する際に、光取出面となる剥離面側に電流拡散層を前もって厚く成長する必要がなく、しかも高い電流拡散効果を維持できる発光素子の製造方法と、それにより得られる発光素子とを提供することにある。

#### 【0009】

##### 【課題を解決するための手段及び作用・効果】

上記の課題を解決するために、本発明の発光素子の製造方法は、  
発光層成長用基板の主表面に、化合物半導体よりなる発光層部をエピタキシャル成長する発光層部成長工程と、  
発光層部から発光層成長用基板を剥離する剥離工程と、  
発光層成長用基板の剥離により露出した発光層部側の主表面を剥離側主表面として、当該剥離側主表面を、発光層部に対して電圧を印加するための透明電極を兼ねた透明導電性酸化物層により被覆する透明導電性酸化物層形成工程と、  
透明導電性酸化物層形成工程に先立って、該透明導電性酸化物層の接合抵抗を減ずるためのコンタクト層となるべき層を剥離側主表面に形成するコンタクト層形成工程と、  
を有することを特徴とする。

#### 【0010】

この方法によると、発光層成長用基板の剥離後、後工程により高い電流拡散効果を有する透明導電性酸化層を形成するので、ヘテロエピタキシャル成長による従来の電流拡散層とは異なり、発光層成長用基板への格子整合性などは全く考慮する必要がなくなる。その結果、後述のITO (Indium Tin Oxide) など、光吸収が小さく導電性の良好な透明導電性酸化物を自由に選択できるようになる。これにより、電流拡散層を厚く成長する従来の方法に比べて光吸収の問題が生じにくくなり、また、透明導電性酸化物の形成自体は比較的低温で実施可能なスパッタリングや蒸着を採用できるので低コストであり、発光層をエピタキシャル成長する際の高温酸化の問題等も生じにくい。また、導電性の良好な透明導電性酸化物を選択すれば、その成長厚さも、従来の電流拡散層と比較して大幅に減ずることができ、能率的である。

#### 【0011】

他方、ITO等の導電性酸化層は、化合物半導体層と直接接合しようとしたとき、良好なオーミック接合が必ずしも形成されず、接触抵抗に基づく直列抵抗増大により発光効率が低下することがある。しかしながら、導電性酸化層の接触抵抗を減ずるためのコンタクト層を、導電性酸化層の化合物半導体層側に接するように配置することにより、導電性酸化層の接触抵抗を下げるができる。

#### 【0012】

上記本発明の方法においては、発光層部の、発光層成長用基板側と反対の主表面側には、特に別の基板等を貼り合わせず、例えば該主表面を光取出面として利用すること、つまり、発光層部の両面から光を取り出す素子構造とすることも可能である。他方、上記本発明の方法においては、発光層部の、発光層成長用基板側とは反対の主表面側に導電性基板を貼り合わせるにより、基板貼り合わせ体を作る貼り合わせ工程を実施することができる。この導電性基板の貼り合わせは、種々の目的で実施できる。例えば、発光層成長用基板としてGaAsのような光吸収の大きい基板を用いる場合は、GaPなどの透明導電性基板を貼り合わせれば、該基板を介した素子側面からの光取出効果や、電流拡散効果を高めることが可能である。

## 【0013】

他方、反射層となる金属層を挟んで導電性基板（この場合、基板自体は必ずしも透明である必要はない）を貼り合わせることもできる。また、本発明の発光素子の第一は、この後者の製造方法により始めて実現可能となったものであり、導電性基板の一方の主表面上に化合物半導体よりなる発光層部が反射層となる金属層を挟んで貼り合わされ、かつ該発光層部の、導電性基板に面しているのと反対側の主表面が、光取出面側電極を兼ねた透明導電性酸化物層により覆われてなり、発光層部と透明導電性酸化物層との間に、該透明導電性酸化物層の接合抵抗を減ずるためのコンタクト層が、該透明導電性酸化物層に接するように配置されたことを特徴とする。このように発光素子を構成すると、透明導電性酸化物層よりなる電極（以下、透明酸化物電極ともいう）が形成された光取出面側に、裏面側に向かう発光を反射により重畳させることができ、光取出し効率を向上させることができる。また、光取出面側には、通常の電流拡散層よりも光透過率と導電性が高く、かつ厚さの小さい透明酸化物電極が形成されることで、その優れた電流拡散効果とも相俟って、素子の光取出し効率がさらに向上する。しかも、発光層部と透明導電性酸化物電極との間にコンタクト層が形成されているので、導電性酸化物層の接触抵抗も小さい。

## 【0014】

透明導電性酸化物層は、例えばITOにて構成できる。ITOは、酸化スズをドープした酸化インジウム膜であり、酸化スズの含有量を1～9質量%とすることで、電極層の抵抗率を $5 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 以下の十分低い値とすることができる。なお、ITO電極層以外では、ZnO電極層が高導電率であり、本発明に採用可能である。また、酸化アンチモンをドープした酸化スズ（いわゆるネサ）、 $\text{Cd}_2\text{SnO}_4$ 、 $\text{Zn}_2\text{SnO}_4$ 、 $\text{ZnSnO}_3$ 、 $\text{MgIn}_2\text{O}_4$ 、酸化イットリウム（Y）をドープした $\text{CdSb}_2\text{O}_6$ 、酸化スズをドープした $\text{GaInO}_3$ なども透明導電性酸化物層の材質として使用することができる。これらの導電性酸化物は可視光に対して良好な透過性を有し（つまり、透明であり）、発光層部への電圧印加用電極として用いる場合、光の取出しを妨げない利点がある。また、該透明導電性酸化物層上に形成されるボンディングパッドなどの金属電極を

介して素子駆動用の電圧を印加したとき、電流を面内に広げて発光を均一化し高効率化する役割も担う。これらの透明酸化物電極は、公知の気相成膜法、例えば化学蒸着法 (chemical vapor deposition: CVD) あるいはスパッタリングや真空蒸着などの物理蒸着法 (physical vapor deposition: PVD)、あるいは分子線エピタキシャル成長法 (molecular beam epitaxy: MBE) にて形成することができる。例えば、ITO層やZnO電極層は高周波スパッタリング又は真空蒸着により製造でき、また、ネサ膜はCVD法により製造できる。また、これら気相成長法に代えて、ゾルーゲル法など他の方法を用いて形成してもよい。

#### 【0015】

導電性基板はSi基板又は金属基板とすることができる。金属基板としては、例えばAlやCuないしそれらの合金よりなるものが、導電性が良好で安価であり、本発明に好適に使用できる。他方、Si基板 (多結晶基板又は単結晶基板) も導電性が良好で、さらに安価であり (特に: 前者は特に安価である)、本発明により有利である。

#### 【0016】

また、反射層は、例えばAu系金属層 (Auを主成分 (50質量%以上) とするもの: 例えばAu層) とすることができる。Au系金属は反射率が高く、また、化学的にも安定であり、成膜時の反応により金属光沢が損なわれる不具合も生じにくい。

#### 【0017】

導電性基板をSi基板とする場合、反射層は、発光層部とSi基板のいずれとも接するAu系金属層とすることができる。Au系金属は反射率が良好である上、Si基板との親和性も高く、貼り合わせ強度を高く確保できる利点がある。この場合、80℃以上360℃以下の貼り合わせ熱処理により、Si基板と接するAu系金属層を介して該Si基板を発光層部に貼り合わせることが望ましい。熱処理温度が80℃未満では貼り合わせ強度が不十分となる。また、360℃ (Au-Si二元系共晶温度は約363℃) を超えると金属層側のAuと基板側のSiとの共晶反応が著しくなり、金属層の反射率が大幅に低下してしまう不具合につながる。

## 【0018】

なお、上記貼り合わせ熱処理の後、透明導電性酸化物層を剥離側主表面に形成する場合は、成長温度の比較的低いスパッタリングにて形成することが、Au系金属層とSi基板との共晶反応を抑制する観点において望ましい。また、透明導電性酸化物層を非晶質酸化物層として形成すれば、成長温度をより低くできるので有利である。また、透明導電性酸化物の材質は、均質で高導電性のものを特に得やすいITOを採用することが望ましい。この場合、本発明の発光素子は、光取出面側電極を兼ねた透明導電性酸化物層がITO層となるように構成される。換言すれば、Au系金属層を介してSi基板と発光層部とが貼り合わされ、かつ、ITOにより透明導電性酸化物層を形成することで、Au系金属層への共晶形成が抑制され、その反射率を大幅に高めることが可能となるのである。

## 【0019】

次に、ITO層等の透明導電性酸化物層は、素子側の化合物半導体層と直接接合しようとしたとき、良好なオーミック接合が必ずしも形成されず、接触抵抗に基づく直列抵抗増大により発光効率が低下することがある。しかしながら、本発明の発光素子は、透明導電性酸化物層の接触抵抗を減ずるためのコンタクト層を、透明導電性酸化物層に接するように配置することにより、透明導電性酸化物層の接触抵抗を下げるができる。このようなコンタクト層は、具体的には、透明導電性酸化物層との接合界面においてAlを含有せず、かつバンドギャップエネルギーが1.42 eVより小さい化合物半導体からなるものを好適に採用することができる。このようなコンタクト層を用いることにより、良好なオーミックコンタクトが得られ、また、Al成分酸化による抵抗増加も生じにくい。

## 【0020】

コンタクト層は、具体的にはInを含有したGaAsを好適に用いることができる。この場合、良好なオーミックコンタクトを得るには、コンタクト層を構成する化合物半導体は、(少なくとも)透明導電性酸化物層との接合界面において、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ ) であればよい。

## 【0021】

透明導電性酸化物層をITO層とする場合、剥離側主表面側にGaAs層を形

成し、透明導電性酸化物層としてのITO層を当該GaAs層と接するように形成した後、熱処理することにより、ITO層からGaAs層にInを拡散させて、Inを含有したGaAsよりなるコンタクト層となすことができる。

#### 【0022】

コンタクト層はInGaAsを直接エピタキシャル成長する方法を採用してもよいのであるが、上記の方法によると、次のような利点がある。すなわち、GaAs層は、例えばAlGaInPよりなる発光層部やGaPよりなる透明導電性半導体基板と格子整合が極めて容易であり、InGaAsを直接エピタキシャル成長する場合と比較して、均質で連続性のよい膜を形成できる。

#### 【0023】

そして、そのGaAs層上にITO層を形成した後、熱処理することにより、ITO層からGaAs層にInを拡散させてコンタクト層とする。このように熱処理して得られるInを含有したGaAsよりなるコンタクト層は、In含有量が過剰とならず、発光層部との格子不整合による、発光強度低下などの品質劣化を効果的に防止することができる。GaAs層と発光層部との格子整合は、発光層部が $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ （ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ， $0.45 \leq y \leq 0.55$ ）にて構成される場合に特に良好となるので、混晶比 $y$ を上記の範囲に設定して、発光層部（クラッド層あるいは活性層）を形成することが望ましいといえる。

#### 【0024】

上記の熱処理は、コンタクト層の厚さ方向におけるIn濃度分布が、図4の①に示すように、ITO層から厚さ方向に遠ざかるにつれ連続的に減少するものとなるようにする（つまり、In濃度分布に傾斜をつける）ことが望ましい。こうした構造は、熱処理により、ITO側からコンタクト層側へInを拡散させることにより形成される。この場合、本発明の発光素子は、透明導電性酸化物層がITO層として形成され、発光層部とITO層との間に、コンタクト層が該ITO層と接するように形成され、コンタクト層が、透明導電性酸化物層との接合界面において $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ （ $0 < x \leq 1$ ）であり、かつ厚さ方向におけるIn濃度分布が、ITO層から厚さ方向に遠ざかるにつれ連続的に減少するものと

なる。

#### 【0025】

このような In 濃度分布のコンタクト層を形成することにより、発光層部との格子整合性をより高めることができる。特に、前記発光層部が、 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$  (ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) により、第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有するものとして構成されている場合、発光層部側にてコンタクト層の In 濃度分布が小さくなれば、発光層部との格子定数差が顕著の縮小し、格子整合性向上効果が大きい。なお、熱処理温度が過度に高くなったり、あるいは熱処理時間が長大化すると、ITO 層からの In 拡散が過度に進行して、図 4 の③に示すように、コンタクト層内の In 濃度分布が厚さ方向にほぼ一定の高い値を示すようになり、上記の効果は得られなくなる (一方、熱処理温度が過度に低くなったり、あるいは熱処理時間が過度に短時間化すると、図 4 の②に示すように、コンタクト層内の In 濃度が不足することにつながる)。

#### 【0026】

この場合、図 4 において、コンタクト層の、ITO 層との境界近傍における In 濃度を  $C_A$  とし、これと反対側の境界近傍における In 濃度を  $C_B$  としたとき、 $C_B/C_A$  が 0.8 以下となるように調整することが望ましく、該形態の In 濃度分布が得られるように、前述の熱処理を行なうことが望ましい。 $C_B/C_A$  が 0.8 を超えると、In 濃度分布傾斜による発光層部との格子整合性改善効果が十分に得られなくなる。なお、コンタクト層の厚さ方向の組成分布 (In あるいは Ga 濃度分布) は、層を厚さ方向に徐々にエッチングしながら、二次イオン質量分析 (Secondary Ion Mass Spectroscopy: SIMS)、オージェ電子分光分析 (Auger Electron Spectroscopy)、X 線光電子分光 (X-ray Photoelectron Spectroscopy: XPS) などの周知の表面分析方法により測定することができる。

#### 【0027】

コンタクト層の ITO 透明電極層との境界近傍における In 濃度は、In と Ga との合計濃度に対する In の原子比にて、0.1 以上 0.6 以下とされること



が望ましく、上記の熱処理もこのような  $\text{In}$  濃度が得られるように行なうことが望ましい。上記定義による  $\text{In}$  濃度が 0.1 未満になると、コンタクト層の接触抵抗低減効果が不十分となり、0.6 を超えるとコンタクト層と発光層部との格子不整合による、発光強度低下などの品質劣化が甚だしくなる。なお、コンタクト層の  $\text{ITO}$  透明電極層との境界近傍における  $\text{In}$  濃度が、 $\text{In}$  と  $\text{Ga}$  との合計濃度に対する  $\text{In}$  の原子比にて、例えば前述の望ましい値 (0.1 以上 0.6 以下) を確保できるのであれば、コンタクト層の、 $\text{ITO}$  透明電極層に面しているのと反対側の境界近傍での  $\text{In}$  濃度  $C_B$  がゼロとなっていること、つまり、図 5 に示すように、コンタクト層の  $\text{ITO}$  透明電極層側に  $\text{InGaAs}$  層が形成され、反対側の部分が  $\text{GaAs}$  層となる構造となっても差し支えない。

#### 【0028】

$\text{ITO}$  は、前述の通り酸化スズをドーパした酸化インジウム膜であり、 $\text{ITO}$  層を  $\text{GaAs}$  層上に形成し、さらにこれを適正な温度範囲にて熱処理することにより、上記望ましい  $\text{In}$  濃度を有したコンタクト層を容易に形成できる。また、この熱処理により、 $\text{ITO}$  層の電気抵抗率をさらに低減できる。

#### 【0029】

この熱処理は、コンタクト層内の  $\text{In}$  濃度が過剰とならないよう、なるべく低温で短時間にて行なうことが望ましい。例えば、前述のように、導電性基板を  $\text{Si}$  基板とし、 $80^\circ\text{C}$  以上  $360^\circ\text{C}$  以下の貼り合わせ熱処理により、 $\text{Si}$  基板と接し  $\text{Au}$  を主成分とする  $\text{Au}$  系金属層を介して  $\text{Si}$  基板を発光層部に貼り合わせる場合は、その貼り合わせ熱処理の後で、 $\text{GaAs}$  層に  $\text{In}$  を拡散させる上記の熱処理を行なうことが望ましい。そして、該  $\text{In}$  拡散の熱処理が低温で短時間のものに留まる限り、 $\text{Au}$  系金属層と  $\text{Si}$  基板との共晶反応を十分抑制できる利点が新たに生ずるのである。

#### 【0030】

上記  $\text{In}$  拡散の熱処理は、 $600^\circ\text{C}$  以上  $750^\circ\text{C}$  以下にて行なうことが望ましい。熱処理温度が  $750^\circ\text{C}$  を超えると  $\text{GaAs}$  層への  $\text{In}$  の拡散速度が大きくなりすぎ、コンタクト層中の  $\text{In}$  濃度が過剰となりやすくなる。また、 $\text{In}$  濃度が飽和して、コンタクト層の厚さ方向に傾斜した  $\text{In}$  濃度分布も得にくくなる。い

ずれも、コンタクト層と発光層部との格子整合が悪化することにつながる。また、GaAs層へのInの拡散が過度に進みすぎると、コンタクト層との接触部付近にてITO層のInが枯渇し、電極の電気抵抗値の上昇が避けがたくなる。さらに、熱処理温度が上記のように高温になりすぎると、ITOの酸素がGaAs層へ拡散して酸化が促進され、素子の直列抵抗が上昇しやすくなる。いずれも適正な電圧で発光素子を駆動できなくなる不具合につながる。また、熱処理温度が極端に高くなると、ITO層の導電率がかえって損なわれる場合がある。他方、熱処理温度が600℃未満になると、GaAs層へのInの拡散速度が小さくなりすぎ、接触抵抗を十分に低下させたコンタクト層を得るのに長時間を要するようになるので、製造能率の低下が甚だしくなる。

#### 【0031】

また、熱処理時間は、5秒以上120秒以下の短時間に設定することが望ましい。熱処理時間が120秒以上になると、特に、熱処理温度が上限値に近い場合、GaAs層へのInの拡散量が過剰となりやすくなる（ただし、熱処理温度を低めに留める場合は、これよりも長い熱処理時間（例えば300秒程度まで）を採用することも可能である）。他方、熱処理時間が5秒未満になると、GaAs層へのInの拡散量が不足し、接触抵抗を十分に低下させたコンタクト層が得にくくなる。そして、GaAs層にInを拡散させる熱処理を、600℃以上750℃以下の温度で5秒以上120秒以下実施することで、Au金属層とSi基板との共晶反応も十分抑制でき、ひいては該熱処理後の金属層の反射率を高く維持することができる。

#### 【0032】

次に、コンタクト層は、透明酸化物電極との接合界面において、コンタクト層の形成領域と非形成領域とが混在してなることが望ましい。コンタクト層を透明酸化物電極の素子側への接合面全面を被覆するように形成すると、次のような問題が生ずる場合がある。

①透明酸化物電極上にはワイヤボンディング用の小さな金属電極を形成する必要がある。透明酸化物電極と発光層部との接触抵抗が、その金属電極の直下領域でも大幅に低くなると、駆動電流ひいては発光が該領域に集中しやすくなり、発生

した光の多くが金属電極により遮蔽されて光取出効率の低下を招く。

②コンタクト層として採用する化合物半導体の材質によっては、コンタクト層が光吸収体として作用し、同様に光取出効率の低下につながる。

#### 【0033】

そこで、本発明の発光素子は、透明導電性酸化物層の発光層部に面しているのと反対側の主表面に、該発光層部に対して電圧を印加するための金属電極が、該主表面の一部領域を覆う形で形成され、透明導電性酸化物層が金属電極の直下領域からなる第一領域と残余の第二領域とを有し、コンタクト層は、第二領域において、第一領域よりも形成面積率が高いものとして構成できる。なお、各領域のコンタクト層の形成面積率とは、領域中のコンタクト層の合計面積を、領域の全面積により割った比率をいう。該構成によると、光取り出し量が少ない金属電極の直下領域（第一領域）において、光取り出し量が多い残余の領域（第二領域）よりも透明酸化物電極の接合界面に形成されるコンタクト層の形成面積率を小さくしたから、第一領域における透明酸化物電極の接触抵抗が増大する。その結果、発光素子の駆動電流は、第一領域を迂回して第二領域に流れる成分が大きくなり、光取出効率を大幅に高めることができる。なお、光取り出し量が少ない第一領域には、なるべく発光駆動電流が流れないことが光取出効率向上の観点においては望ましい。従って、第一領域にはコンタクト層が可及的に形成されていないことが望ましい。

#### 【0034】

また、本発明の発光素子は、透明酸化物電極の接合界面のうち、発光層部からの光を外部へ取り出す量が多い第二領域において少なくとも、コンタクト層の形成領域と非形成領域とが混在してなるものとして構成できる。コンタクト層の形成領域は、分散形成されてなることが好ましい。なお、この第二領域を前記した金属電極の直下領域（第一領域）を除く残余の領域とみなすことで、該第二の構成は第一の構成と組み合わせることができる。該構造によると、透明酸化物電極の接触抵抗低減のために形成するコンタクト層が、発光層部からの光を吸収しやすい性質を有している場合においても、コンタクト層の形成領域直下にて発生した光は、これと隣接する非形成領域から漏出することにより、コンタクト層によ

る吸収を抑制することができる。その結果、素子全体としての光取出効率を高めることができる。

#### 【0035】

また、コンタクト層の、透明酸化物電極に接しているのと反対側の主表面には、中間層を介して発光層部を結合することができる。該中間層は、発光層部とコンタクト層との中間のバンドギャップエネルギーを有する化合物半導体により構成される。ダブルヘテロ構造の発光層部は、活性層へのキャリア閉じ込め効果を高めて内部量子効率を向上させるために、クラッド層と活性層との間の障壁高さを一定以上に高める必要がある。図10の模式バンド図( $E_c$ は伝導帯底、 $E_v$ は価電子帯頂の核エネルギーレベルを示す)に示すように、このようなクラッド層(例えばAlGaInP)にコンタクト層(例えばInGaAs)を直接接合すると、クラッド層とコンタクト層との間に、接合によるバンドの曲がりにより、比較的高いヘテロ障壁が形成される場合がある。この障壁高さ $\Delta E$ は、クラッド層とコンタクト層との間のバンド端不連続値が大きくなるほど高くなり、キャリアの移動、特に有効質量のより大きいホール移動を妨げやすくなる。例えば金属電極を使用する場合は、クラッド層の全面を金属電極で覆うと光取出しができなくなるので、部分的な被覆となるように電極形成せざるを得ない。この場合、光取出し効率向上のため、電極の面内方向外側への電流拡散を何らかの形で促進しなければならない。例えば、金属電極の場合も、発光層部との間にGaAs等のコンタクト層が形成されることが多いが、金属電極の場合は、コンタクト層と発光層部との間に、ある程度高い障壁が形成された方が、障壁によるキャリアのせき止め効果により面内方向の電流拡散を促進できる利点がある。しかし、高い障壁形成のため、直列抵抗の増加は避け難い。

#### 【0036】

これに対し、ITO透明電極層を用いる場合は、ITO透明電極層自体が非常に高い電流拡散能を有しているため、障壁によるキャリアのせき止め効果はほとんど考慮する必要がない。しかも、ITO透明電極層の採用により、光取出領域の面積は金属電極使用時と比較して大幅に増加している。そこで、図11に示すように、コンタクト層とクラッド層との間に、それらコンタクト層とクラッド層

との中間のバンドギャップエネルギーを有する中間層を挿入すると、コンタクト層と中間層、及び中間層とクラッド層とのそれぞれはバンド端不連続値が小さくなるので、各々形成される障壁高さ $\Delta E$ も小さくなる。その結果、直列抵抗が軽減されて、低い駆動電圧にて十分に高い発光強度を達成することが可能となる。

#### 【0037】

上記中間層を採用することによる効果は、ダブルヘテロ構造の発光層部の中でも、特にコンタクト層をなすInを含有したGaAsとの格子整合性が比較的良質な $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ （ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ）にて発光層部を形成する場合に顕著である。この場合、発光層部と、コンタクト層との中間のバンドギャップエネルギーを有する中間層として、具体的には、AlGaAs層、GaInP層及びAlGaInP層（バンドギャップエネルギーがクラッド層より小さくなるように組成調整されたもの）の少なくとも一つを含むものを好適に採用することができ、例えばAlGaAs層を含むものとして形成することができる。また、これ以外の発光層部、例えば、 $In_xGa_yAl_{1-x-y}N$ からなるダブルヘテロ構造の発光層部にも適用可能である。この場合、中間層は、例えばInGaAlN層（バンドギャップエネルギーがクラッド層より小さくなるように組成調整されたもの）を含むものが採用可能である。

#### 【0038】

また、本発明の発光素子の第二は、透明導電性半導体基板の一方の主表面上に化合物半導体よりなる発光層部が貼り合わされ、かつ該発光層部の、導電性基板に面しているのと反対側の主表面が、光取出面側電極を兼ねた透明導電性酸化物層により覆われてなり、発光層部と透明導電性酸化物層との間に、該透明導電性酸化物層の接合抵抗を減ずるためのコンタクト層が、該透明導電性酸化物層に接するように配置されたことを特徴とする。透明導電性半導体基板は発光層部が発する光に対して透明な半導体にて構成される。なお、本明細書において「発光層部が発する光に対して透明」とは、発光層部が発する光の透過率が50%以上であることをいい、透過率50%未満を「発光層部が発する光に対して不透明」という。該透明導電性半導体基板は、裏面側光取出層として利用できる。他方、該透明導電性半導体基板の発光層部に貼り合っているのと反対側の主表面の全面を

金属電極で覆えば、透明導電性酸化物層よりなる電極（透明酸化物電極）が形成された光取出面側に、裏面側に向かう発光を反射により重畳させることができるのみばかりか、透明導電性半導体基板の側面からも光を取り出すことができるので、光取出し効率を向上させることができる。光取出面側には、通常の電流拡散層よりも光透過率と導電性が高く、かつ厚さの小さい透明酸化物電極が形成されることで、その優れた電流拡散効果とも相俟って、素子の光取出し効率がさらに向上する。しかも、発光層部と透明酸化物電極との間にコンタクト層が形成されているので、導電性酸化物層の接触抵抗も小さい。

### 【0039】

#### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を添付の図面を参照して説明する。

図1は、本発明の一実施形態である発光素子100を示す概念図である。発光素子100は、導電性基板であるn型Si（シリコン）単結晶基板7の主表面MP2上に、Auよりなる金属層10を介して発光層部24が貼り合わされた構造を有してなる。また、発光層部24の主表面MP4の全面が、透明酸化物電極であるITO層20により覆われている。ITO層20は電流拡散層及び光取出層として機能し、その主表面MP1の略中央に、発光層部24に発光駆動電圧を印加するための金属電極（例えばAu電極）9が、主表面MP1の一部を覆うように形成されている。ITO層20の主表面MP1における、金属電極9の周囲の領域は、発光層部24からの光取出領域をなす。また、Si単結晶基板7の裏面にはその全体を覆うように金属電極15が形成されている。

### 【0040】

発光層部24は、ノンドープ  $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ （ただし、 $0 \leq x \leq 0.55$ 、 $0.45 \leq y \leq 0.55$ ）混晶からなる活性層5を、p型  $(Al_zGa_{1-z})_yIn_{1-y}P$ （ただし  $x < z \leq 1$ ）からなるp型クラッド層6（第一導電型クラッド層）とn型  $(Al_zGa_{1-z})_yIn_{1-y}P$ （ただし  $x < z \leq 1$ ）からなるn型クラッド層4（第二導電型クラッド層）とにより挟んだ構造を有し、活性層5の組成に応じて、発光波長を、緑色から赤色領域（発光波長（中心波長）が550nm以上650nm以下）にて調整できる。図1

の発光素子100では、金属電極9側にp型AlGaInPクラッド層6が配置されており、金属層10側にn型AlGaInPクラッド層4が配置されている。従って、通電極性は金属電極9側が正である。なお、ここでいう「ノンドープ」とは、「ドーパントの積極添加を行なわない」との意味であり、通常の製造工程上、不可避免的に混入するドーパント成分の含有（例えば $10^{13} \sim 10^{16} / \text{cm}^3$ 程度を上限とする）をも排除するものではない。

#### 【0041】

Si単結晶基板7は、Si単結晶インゴットをスライス・研磨して製造されたものであり、その厚みは例えば $100 \mu\text{m}$ 以上 $500 \mu\text{m}$ 以下である。そして、発光層部24に対し、金属層10を挟んで貼り合わされている。金属層10の厚さは例えば $100 \text{nm}$ 以上である。 $100 \text{nm}$ 以下では、貼り合わせ強度や反射機能が損なわれる場合がある。なお、金属層10は、形成コスト及び時間を勘案して適宜上限を定めるが、例えば $1 \mu\text{m}$ 程度である。また、AlGaInPよりなる発光層部24とAu層よりなる金属層10との間には、AuGeよりなる金属層用接合層32が形成されており、素子の直列抵抗低減に貢献している。

#### 【0042】

さらに、ITO層20と発光層部24との間には、Inを含有したGaAsよりなるコンタクト層30が形成されている。コンタクト層30は、光吸収の影響を小さくするため、その厚さを $1 \text{nm}$ 以上 $20 \text{nm}$ 以下（望ましくは $5 \text{nm}$ 以上 $10 \text{nm}$ 以下）とする。

#### 【0043】

以下、図1の発光素子100の製造方法について説明する。

まず、図2の工程1に示すように、発光層成長用基板をなす半導体単結晶基板であるGaAs単結晶基板1の主表面MP5に、p型GaAsバッファ層2を例えば $0.5 \mu\text{m}$ 、さらにAlAsからなる剥離層3を例えば $0.5 \mu\text{m}$ エピタキシャル成長させる。次いで、後にコンタクト層30となるGaAs層30'をエピタキシャル成長させ、さらに発光層部24として、 $1 \mu\text{m}$ のp型AlGaInPクラッド層6、 $0.6 \mu\text{m}$ のAlGaInP活性層（ノンドープ）5、及び $1 \mu\text{m}$ のn型AlGaInPクラッド層4を、この順序にエピタキシャル成長させ



る。

#### 【0044】

次に、工程2に示すように、スパッタリングあるいは真空蒸着等を用いて、発光層部24の主表面MP4に、AuGeよりなる金属層用接合層32を分散形成する。この状態で、350℃以上500℃以下で熱処理することにより、発光層部24と金属層用接合層32との間にアロイ層が形成され、直列抵抗低減が大幅に低減される。他方、工程3に示すように、別途用意したSi単結晶基板7（n型）の主表面MP2にAl層10bを形成する。そして、Si単結晶基板7のAl層10bを、発光層部24上に形成されたAu層10aに重ね合わせて圧迫し、工程4に示すように、所定の条件にて熱処理することにより、基板貼り合わせ体50を作る。Si単結晶基板7は、反射層となるAu層10aを挟んで発光層部24に貼り合わせられる。

#### 【0045】

次に、工程5に進み、上記基板貼り合わせ体50を、例えば10%フッ酸水溶液からなるエッチング液に浸漬し、バッファ層2と発光層24との間に形成したAlAs剥離層3を選択エッチングすることにより、GaAs単結晶基板1（発光層24からの光に対して不透明である）を、発光層部24とこれに接合されたSi単結晶基板7との積層体50aから剥離する。なお、AlAs剥離層3に代えてAlInPよりなるエッチストップ層を形成しておき、GaAsに対して選択エッチング性を有する第一エッチング液（例えばアンモニア／過酸化水素混合液）を用いてGaAs単結晶基板1をGaAsバッファ層2とともにエッチング除去し、次いでAlInPに対して選択エッチング性を有する第二エッチング液（例えば塩酸：Al酸化層除去用にフッ酸を添加してもよい）を用いてエッチストップ層をエッチング除去する工程を採用することもできる。このように、発光層成長用基板を全てエッチングに除去することも、「剥離」の概念に属するものとする。

#### 【0046】

そして、工程6に示すように、GaAs単結晶基板1の剥離により露出したGaAs層30'の主裏面MP3の全面を覆うようにITO層20を形成する。G



a A s 層 30' は後にコンタクト層 30 となるものであり、光吸収の影響を小さくするため、その厚さを 1 nm 以上 20 nm 以下（望ましくは 5 nm 以上 10 nm 以下）とする。なお、コンタクト層 30 は、In を含有した Ga A s より構成され、例えば MOVPE 法等により、はじめから In Ga A s 層としてエピタキシャル成長形成することも可能であるが、In を含有した ITO 層 10 あるいは 20 と接して形成することを考慮すれば、上記 Ga A s 層 30' を用いて以下のような製造方法を採用することが可能である。すなわち、図 2 の工程 1 にて、前述の通り、p 型クラッド層 6 を形成する前に、Ga A s 層 30' を MOVPE 法により形成した後、ITO 層 20 を形成する。

#### 【0047】

そして、図 3 に示すように、ITO 層 20 を形成した積層体ウェーハ 50 a を炉 F の中に配置し、例えば窒素雰囲気中あるいは Ar 等の不活性ガス雰囲気中にて、600℃以上 750℃以下（例えば 700℃）の低温で、5 秒以上 120 秒以下（例えば 30 秒）の短時間の熱処理を施す。これにより、ITO 層 20 から Ga A s 層 30' に In が拡散し、In を含有した Ga A s よりなるコンタクト層 30（図 1）が得られる。

#### 【0048】

該熱処理により得られるコンタクト層 30 は、図 4 ①において、ITO 層との境界近傍における In 濃度  $C_A$  が、In と Ga との合計濃度に対する In の原子比にて、0.1 以上 0.6 以下とされる。また、In 濃度は、ITO 層から厚さ方向に遠ざかるにつれ連続的に減少するものとなっており、ITO 層との境界近傍における In 濃度を  $C_A$  とし、これと反対側の境界位置における In 濃度を  $C_B$  としたとき、 $C_B/C_A$  が 0.8 以下となるように調整されている。

#### 【0049】

コンタクト層 30 は、Al Ga In P よりなる発光層部 24 に対し、格子整合性の良好な Ga A s 層 30' をまず形成し、その後、比較的低温で短時間の熱処理を施すことにより、In 含有量が過剰でなく、しかも均質で連続性の良好なものとなる。その結果、発光層部 24 との格子不整合による、発光強度低下などの品質劣化を効果的に防止することができる。

## 【0050】

コンタクト層30は、適当なドーパントの添加により、これと接するクラッド層6と同じ導電型を有するものとして形成してもよいが、これらコンタクト層30を上記のような薄層として形成する場合は、これらをドーパント濃度の低い低ドーピング層（例えば $10^{17}$ 個/cm<sup>3</sup>以下；あるいはノンドーピング層（ $10^{13}$ 個/cm<sup>3</sup>～ $10^{16}$ 個/cm<sup>3</sup>））として形成しても直列抵抗の過度の増加を招かないので、問題なく採用可能である。他方、低ドーピング層とした場合、発光素子の駆動電圧によっては、以下のような効果が達成できる。すなわち、コンタクト層30を低ドーピング層とすることで、層の電気抵抗率自体は高くなるので、これを挟む電気抵抗率の小さいクラッド層あるいはITO層20に対して、コンタクト層30の層厚方向に印加される電界（すなわち、単位距離当たりの電圧）が相対的に高くなる。このとき、コンタクト層30を、バンドギャップの比較的小さいInを含有したGaAsにより形成しておく、と、上記電界の印加により、コンタクト層のバンド構造に適度な曲がりが生じ、より良好なオーミック状接合を形成することができる。そして、図5に示すように、コンタクト層30のIn濃度が、ITO層20との接触側にて高められていることで、該効果が一層顕著なものとなる。

## 【0051】

こうしてコンタクト層30及びITO層20の形成が終了すれば、Au等よりなるワイヤボンディング用の電極9（ボンディングパッド：図1）をITO層20上に形成する。また、Si単結晶基板7の裏面にも金属電極15を形成する。以下、通常の方法によりダイシングして半導体チップとし、これを支持体に固着してリード線のワイヤボンディング等を行なった後、樹脂封止をすることにより最終的な発光素子が得られる。

## 【0052】

なお、コンタクト層30は、図6に示すように、金属電極9（ボンディングパッド：図1）の直下領域をなす光取り出し量が少ない第一領域には形成されず、その周囲の光取り出し量が多い第二領域にのみ選択的に形成することもできる。図6では、該第二領域においてコンタクト層30を、その形成領域と非形成領域

とが混在した形としてある。従って、コンタクト層 30 の非形成領域においては ITO 透明電極層 20 が発光層部 24 と直接接触する形となっている。

#### 【0053】

図 7 (a) ~ (c) に示すように、コンタクト層 30 の形成領域は、ITO 透明電極層 20 の接合界面において分散形成することにより、発光層部 24 における発光を均一化し、かつコンタクト層 30 の非形成領域から均一に光を取り出すことができる。図 7 (a) はコンタクト層 30 の形成領域を散点状とした例であり、(b) は細長い帯状のコンタクト層 30 の形成領域と、同形態の非形成領域とを交互に形成した例である。さらに、(c) は、(a) とは逆に、コンタクト層 30 の形成領域を背景として、散点状の非形成領域をこれに分散形成した例である。ここではコンタクト層 30 の形成領域を格子状に形成している。いずれも、周知のフォトリソグラフィ工程により、コンタクト層 30 のパターニングが可能である。

#### 【0054】

なお、コンタクト層 30 と発光層部 24 とを直接接合した場合、図 10 に示すように、接合界面にやや高いヘテロ障壁が形成され、これに起因して直列抵抗成分が増大する場合があります。そこで、これを低減する目的で、図 8 及び図 9 に示すように ITO 層 20 と接するコンタクト層 30 と、AlGaInP クラッド層 6 との間に、両者の中間のバンドギャップエネルギーを有する中間層 31 を挿入することができる。中間層 31 は、例えば AlGaAs、GaInP 及び AlGaInP の少なくとも 1 つを含むものとして構成でき、例えば中間層の全体を単一の AlGaAs 層として構成できる。この構造を採用する場合でも、それら中間層の厚さはそれぞれ  $0.1 \mu\text{m}$  程度以下 ( $0.01 \mu\text{m}$  以上: これ以上薄くなると、バルクのバンド構造が失われ、所期の接合構造が得られなくなる) とすることが可能なため、薄層化によるエピタキシャル成長時間の短縮、ひいては生産性の向上を図ることができ、中間層形成による直列抵抗の増分も少なくできるため、発光効率も損なわれにくい。特に、光取出面側に形成された ITO 層 20 の一部領域のみにコンタクト層 30 を形成する場合は、発光通電の際の電流密度はこれらコンタクト層 30 の形成領域において選択的に高くなる傾向にある。も

し、コンタクト層 30 と AlGaInP クラッド層 6 との間に形成されるヘテロ障壁が高いと、電流集中の影響により、該コンタクト層 30 と AlGaInP クラッド層 6 との接合界面を通過する際の電圧降下が一層甚だしくなり、見かけの直列抵抗がより大きくなりやすい問題がある。従って、コンタクト層 30 を ITO 層 20 の全面に形成する場合よりも、中間層 31 の形成によりヘテロ障壁高さを減ずることの効果が一層顕著であるといえる。

#### 【0055】

なお、中間層 31 は、厚さがごく小さい場合など、光吸収にそれほど悪影響を及ぼす心配が無い場合は、図 8 に示すように、発光層部 24 の全面を覆うように形成することができる。このようにすると、コンタクト層 30 のみをパターニングすればよいので、例えば化学エッチングの場合、コンタクト層 30 に対するエッチャントにて中間層 31 を十分にエッチングできない場合でも、製造が容易である。他方、図 9 に示すように、中間層 31 をコンタクト層 30 の形成領域にのみ形成することもでき、中間層 31 による光吸収の影響をより小さくすることができる。この場合、コンタクト層 30 と中間層 31 とを発光層部 24 の全面を覆うように形成しておき、前述のフォトリソグラフィーにより、両者を各々パターニングすればよい。この場合は、気相エッチングによりコンタクト層 30 と中間層 31 とを同時にエッチングしてもよいし、化学エッチングの場合は、コンタクト層 30 と中間層 31 とでエッチャントを交換して順次エッチングを行なうことも可能である。また、化学エッチングによりコンタクト層 30 をパターニングする際に、中間層 31 は、発光層部 24 側への腐食の進行を停止させるストップ層として利用できる場合がある。例えば、コンタクト層 30 を In を含有した GaAs にて構成する場合、中間層 31 を AlGaAs にて構成しておけば、アンモニア／過酸化水素をエッチャントとすることで、中間層 31 をストップ層としてコンタクト層 30 のみを選択エッチングすることができる。

#### 【0056】

なお、ITO 層 20 は、透明導電性酸化物である ITO にて構成され、光取出機能と電流拡散機能とを両立した透明電極として機能する。電流拡散機能を高めるには、ITO 層 20 のシート抵抗（あるいは電気比抵抗）を低減することが重

要であり、また、光取出機能を高めるには、必要に応じてITO層20を厚く形成した場合でも、十分な光透過性が確保できるようにすることが重要である。例えばITO層20をスパッタリングにより形成する場合、シート抵抗を低減するには、スパッタリング電圧をなるべく低く設定することが望ましい。これは、スパッタリングのプラズマ中に含まれる負イオン（主に酸素イオンである）が堆積中のITO層に高速で入射すると、絶縁性のInOが形成されやすくなるが、加速電圧が低くなると該InOの形成が抑制されるためである。このようなスパッタリングの低電圧化を図るためには、スパッタリング時の磁界強度を一定以上に高めること（例えば、0.8 kG以上：電圧低減効果が飽和するので2 kG以下で設定することが望ましい）が有効である。シート抵抗の低減は、例えばカソード電圧の絶対値にて350 V以下、望ましくは250 V以下に設定することで顕著となる。磁界強度を例えば1000 G以上に設定すれば、スパッタリング電圧をカソード電圧の絶対値にて250 V以下に容易に調整することができる。

#### 【0057】

また、均質で光透過率の高いITO層を得るには、ITO層を、明確な結晶粒界が形成されない非晶質層とすることが有利である。非晶質のITO層を得るには、ITOの結晶化を防止するため200℃以下の低温で成膜を行なう必要がある。この場合、低抵抗のITO層を得るために、上記のスパッタリング条件と組み合わせることが有効であり、特に、低温でも均質で低抵抗率のITO層を得るには、スパッタリング雰囲気中に水蒸気を導入することが有効である（例えば $3 \times 10^{-3}$  Pa以上 $15 \times 10^{-3}$  Pa以下）。スパッタリング雰囲気の水蒸気分圧が過度に低くなると、得られるITO層の微結晶化が進みやすくなり、光透過率の低下及びシート抵抗の上昇が著しくなるが、一定以上の水蒸気分圧を確保することで、この微結晶化を効果的に抑制することができる。これにより、光透過率が90%以上（望ましくは95%以上）、比抵抗が $1000 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 以下（望ましくは $800 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 以下）のITO層を実現できるようになる。

#### 【0058】

また、ITO層20は、均一で大きな電流拡散効果を有していることが、均一で高い発光効率を実現する上で重要である。そのためには、ITO層を均質で低

抵抗率のものとして構成する以外に、その表面の平滑性を高めることが必要となる。表面の平滑性が低下すると、電界集中しやすい突起部が多数形成されやすくなり、発光層部 24 への印加電圧の不均一化により局所的な暗所を生じやすくなったり、あるいはリーク電流の発生により発光効率そのものが低下することにつながる。これらの不具合防止のため、ITO 層の表面粗さは、具体的には、原子間力顕微鏡 (AFM) による 3 次元表面トポグラフィーにて、評価面積を  $0.2 \mu\text{m}$  四方としたときの  $R_{\text{max}}$  の値にて  $10 \text{ nm}$  以下とすること (例えば  $4 \text{ nm}$  以上  $7 \text{ nm}$  以下) に設定することが望ましい。

#### 【0059】

上記のような ITO 層の表面平滑化のためには、ITO 層を形成したあと、その表面を研磨することが有効であるが、機械的な研磨は高コストなので化学研磨の採用が望ましい。ITO の化学研磨液としては、例えば塩酸と硝酸の混合液や、蔞酸水溶液をを採用できる。この場合、前述のような ITO 層の微結晶化が進むと、結晶粒界でエッチングが進行しやすいことから、粒界侵食や脱粒による表面粗化を生じやすくなる。従って、均質な非晶質層を得るために、スパッタリング雰囲気中への水蒸気を導入することは、化学研磨後の ITO 層の表面粗さを上記のように低減する上でも有力な手法となりうる。

#### 【0060】

例えば、大面積 (例えば 1 辺が  $300 \mu\text{m}$ ) の面発光型素子の発光強度を最大限に高めるためには、大面積の ITO 層にできるだけ大きな電流を均一に流すことが重要である。従って、大面積の面発光型素子に本発明を適用する場合には、上記のように平滑かつ低抵抗率であり、かつ、光透過率の高い ITO 層を採用することが特に有利であるといえる。

#### 【0061】

また、図 12 に示す発光素子 600 は、発光層部 24 の片側の主表面に透明導電性半導体基板 23 が貼り合わされ、これと反対側の主表面が、透明電極を兼ねた透明導電性酸化物層 20 にて覆われた構造を有する。また、該透明導電性酸化物層 20 の一部を覆う形で金属電極 9 が形成されてなり、透明導電性酸化物層 20 の該金属電極 9 の周囲領域を光取出面として利用している。透明導電性半導体

基板 23 は例えば  $n$ -GaP 単結晶基板 23 であり、透明導電性酸化物層 20 は例えば ITO 層 20 である。 $n$ -GaP 単結晶基板 23 は、発光層部 24 の  $n$  型クラッド層 4 側に貼り合わせてある。また、 $n$ -GaP 単結晶基板 23 の裏面は、全面が反射層を兼ねた金属電極 21 (例えば Au 電極) により覆われている。他方、ITO 層 20 と  $p$  型クラッド層 6 との間には、ITO 層 20 側から、コンタクト層 30 及び中間層 31 がこの順序で形成されている。コンタクト層 30 は、金属電極 9 の直下領域をなす光取り出し量が少ない第一領域 PA には形成されず、その周囲の光取り出し量が多い第二領域 SA にのみ選択的に形成されている。これらコンタクト層 30 及び中間層 31 の組成及び厚さは、図 1、図 8 あるいは図 9 の発光素子にて、 $p$  型クラッド層 6 に接して形成されているコンタクト層 30 及び中間層 31 と同じであり、図 8 および図 9 と同様の形態でパターンニングが可能である。

#### 【0062】

上記素子の製法の一例を図 13 に示す (特に断りのない部分については、図 2 と同様の工程が採用可能である)。工程 1 は、図 2 の工程 1 と同じである。次に、工程 2 においては、 $n$ -GaP 単結晶基板 23 を用意し、発光層部 24 に重ね合わせて圧迫するとともに、所定の条件にて熱処理することにより、貼り合わせを行なう (工程 3)。そして、工程 4 において GaAs 基板 1 を剥離し、工程 5 では、露出した GaAs 層 30' を、フォトリソグラフィーにより、第一領域を除去する形でパターンニングする。そして、工程 6 に示すように、そのパターンニングされた GaAs 層 30' 上に ITO 層 20 を形成し、さらに、前述の In 拡散のための短時間の熱処理を行なう。その後、電極 9 及び 21 を形成する。

#### 【0063】

以上説明した実施形態では、発光層部 24 の各層を AlGaInP 混晶にて形成していたが、該各層 ( $p$  型クラッド層 6、活性層 5 及び  $n$  型クラッド層 4) を AlGaInN 混晶により形成することにより、青色あるいは紫外発光用のワイドギャップ型発光素子を構成することもできる。発光層部 24 は、図 1 の発光素子 100 と同様に MOVPE 法により形成される。この場合、発光層部 24 を成長させるための発光層成長用基板をなす半導体単結晶基板は、GaAs 単結晶基

板に代えて、例えばサファイア基板（絶縁体）が使用される。

#### 【0064】

さらに、活性層 5 は上記実施形態では単一層として形成していたが、これを、バンドギャップエネルギーの異なる複数の化合物半導体層が積層されたもの、具体的には、量子井戸構造を有するものとして構成することもできる。量子井戸構造を有する活性層は、混晶比の調整によりバンドギャップが互いに相違する 2 層、すなわちバンドギャップエネルギーの小さい井戸層と大きい障壁層とを、各々電子の平均自由行程もしくはそれ以下の厚さ（一般に、1 原子層～数 nm）となるように格子整合させる形で積層したものである。上記構造では、井戸層の電子（あるいはホール）のエネルギーが量子化されるため、例えば半導体レーザー等に適用した場合に、発振波長をエネルギー井戸層の幅や深さにより自由に調整でき、また、発振波長の安定化、発光効率の向上、さらには発振しきい電流密度の低減などに効果がある。さらに、井戸層と障壁層とは厚さが非常に小さいため、2～3%程度までであれば格子定数のずれが許容され、発振波長領域の拡大も容易である。なお、量子井戸構造は、井戸層を複数有する多重量子井戸構造としてもよいし、井戸層を 1 層のみ有する単一量子井戸構造としてもいづれでもよい。なお、障壁層の厚さは、例えばクラッド層と接するもののみ 50 nm 程度とし、他は 6 nm 程度とすることができる。また、井戸層は 5 nm 程度とすることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図 1】

本発明の発光素子の第一実施形態を積層構造にて示す模式図。

##### 【図 2】

図 1 の発光素子の製造工程を示す説明図。

##### 【図 3】

図 2 に続く工程説明図。

##### 【図 4】

コンタクト層の一例を示す概念図。

##### 【図 5】



コンタクト層の変形例を示す概念図。

【図 6】

本発明の発光素子の第二実施形態を積層構造にて示す模式図。

【図 7】

図 6 の発光素子の、コンタクト層の種々のパターンニング形態を示す模式図。

【図 8】

本発明の発光素子の第三実施形態を積層構造にて示す模式図。

【図 9】

本発明の発光素子の第四実施形態を積層構造にて示す模式図。

【図 10】

コンタクト層のバンド構造の第一例を示す模式図。

【図 11】

コンタクト層のバンド構造の第二例を示す模式図。

【図 12】

本発明の発光素子の第五実施形態を積層構造にて示す模式図。

【図 13】

図 13 の発光素子の製造方法の一例を示す工程説明図。

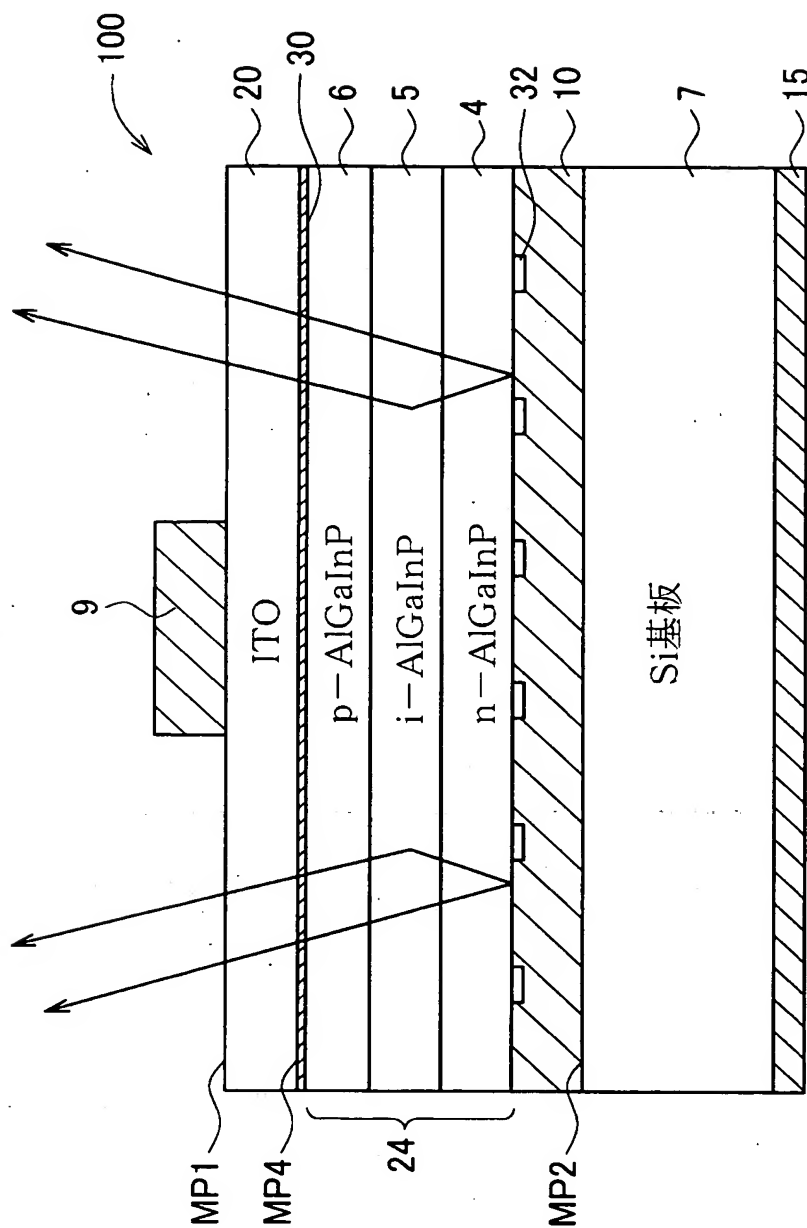
【符号の説明】

- 1 GaAs 単結晶基板（発光層成長用基板）
- 4 n 型クラッド層（第二導電型クラッド層）
- 5 活性層
- 6 p 型クラッド層（第一導電型クラッド層）
- 7 Si 単結晶基板（導電性基板）
- 9 金属電極
- 10 金属層
- 20 ITO 層
- 24 発光層部
- 30 コンタクト層
- 30' GaAs 層

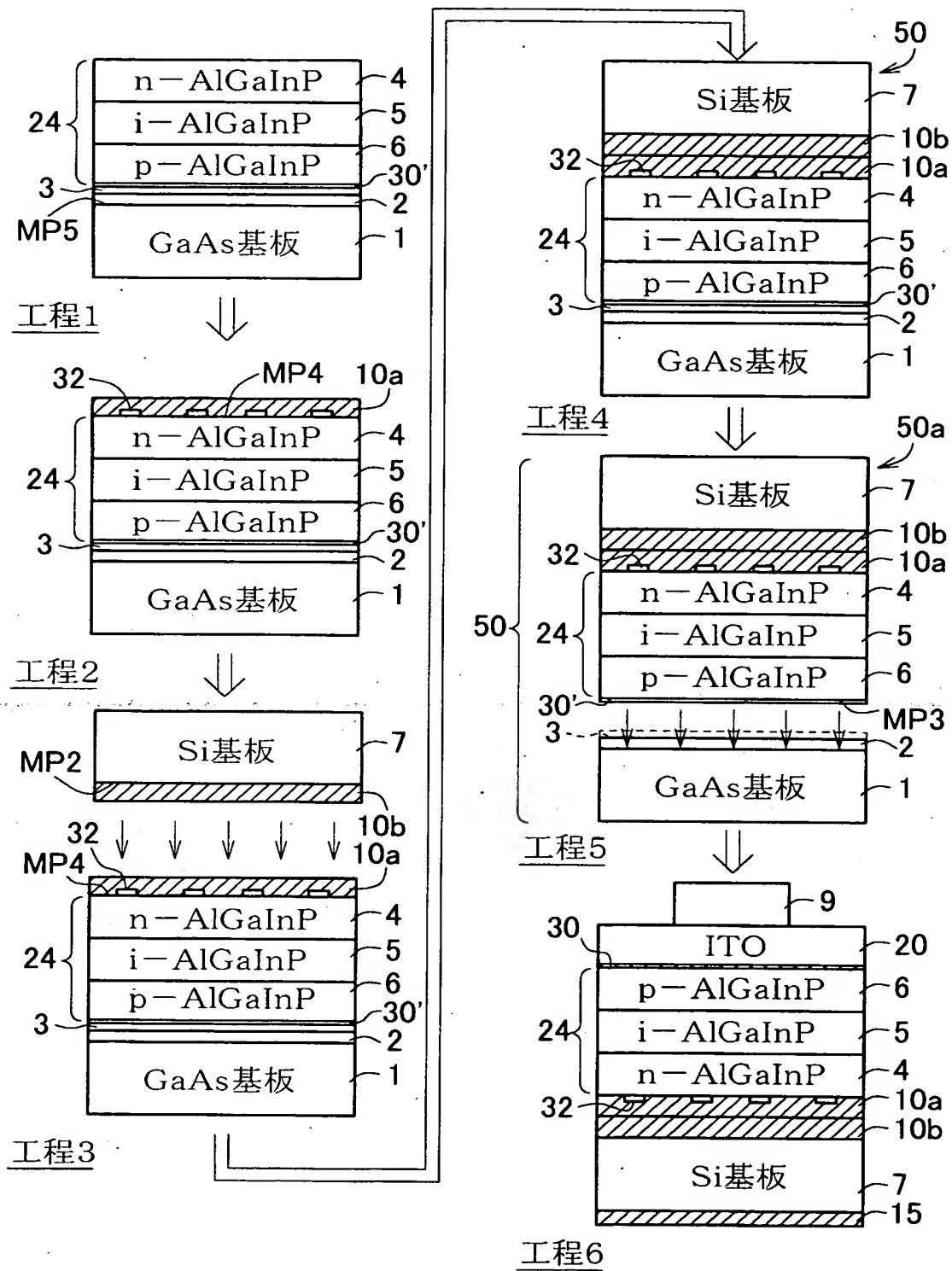
100, 200, 300, 400, 500, 600 発光素子

【書類名】 図面

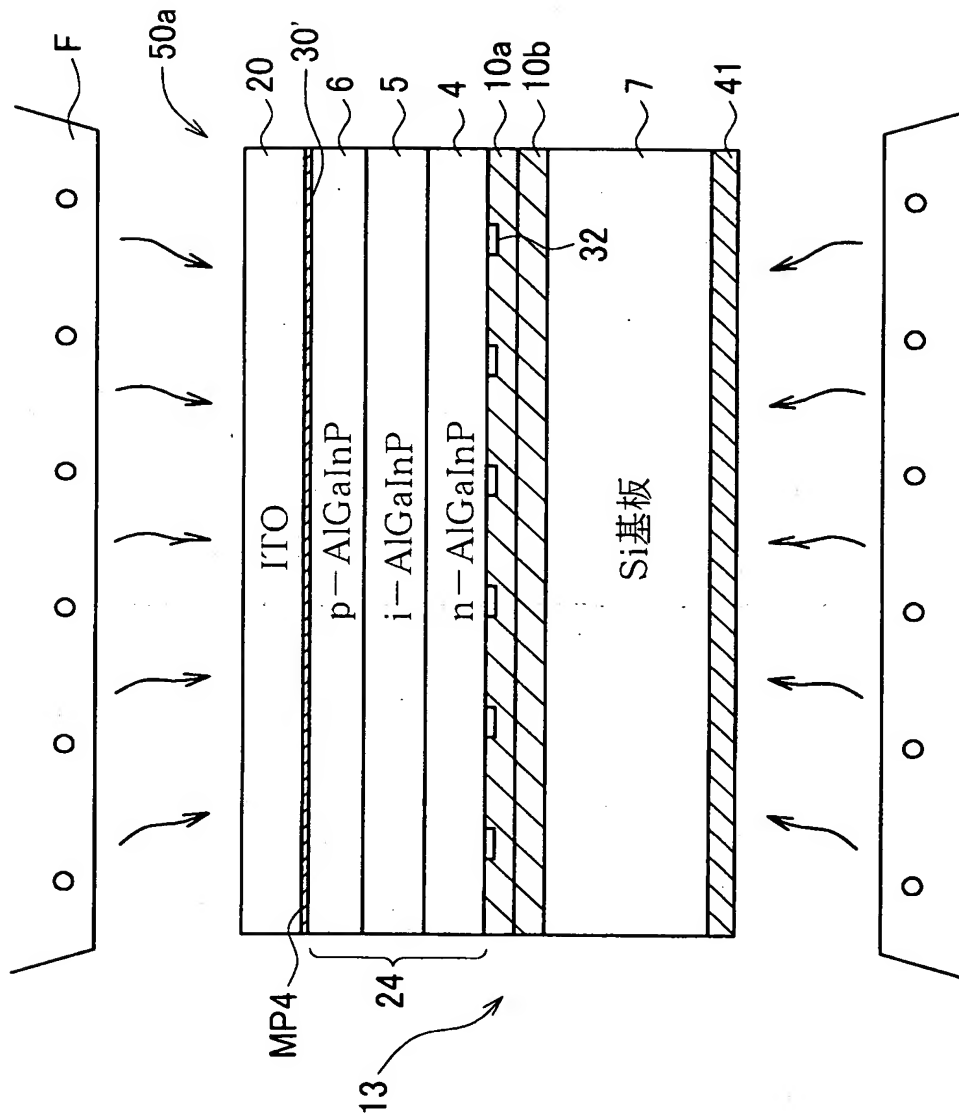
【図 1】



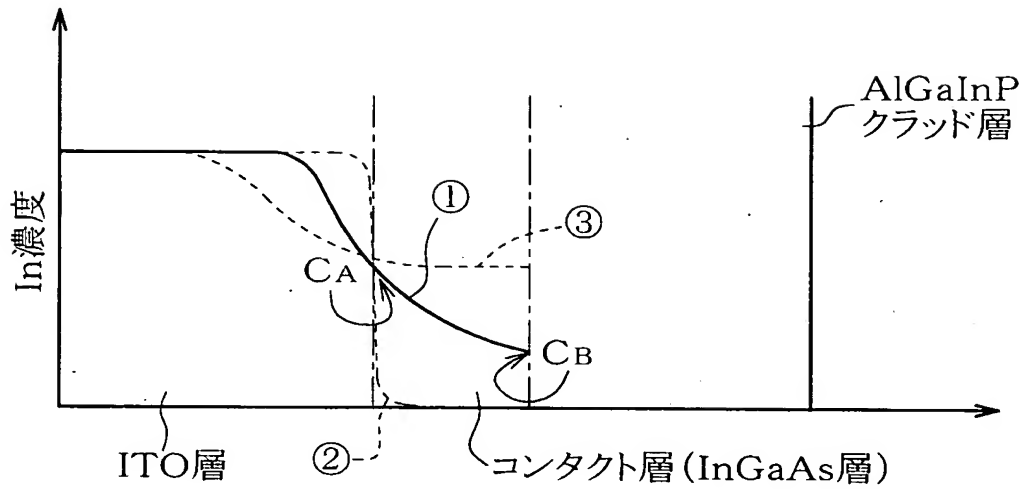
【図 2】



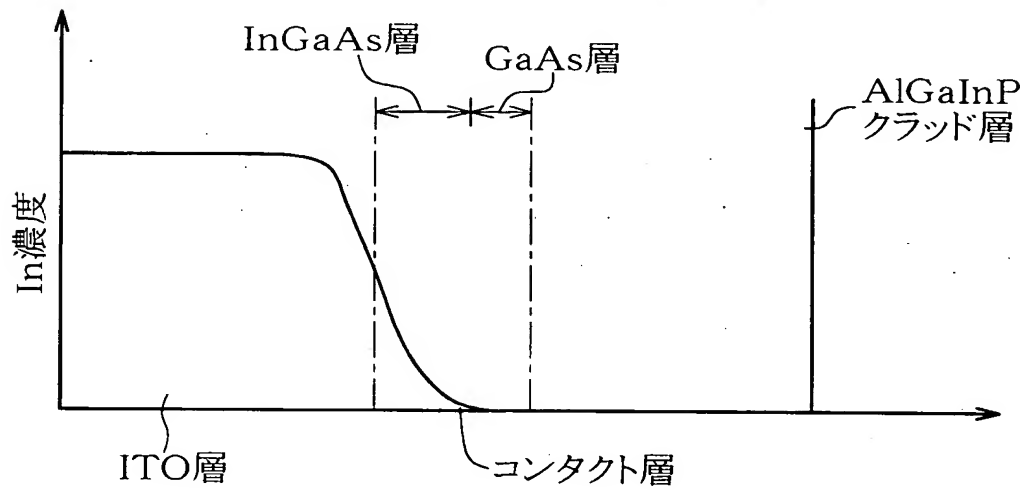
【図3】



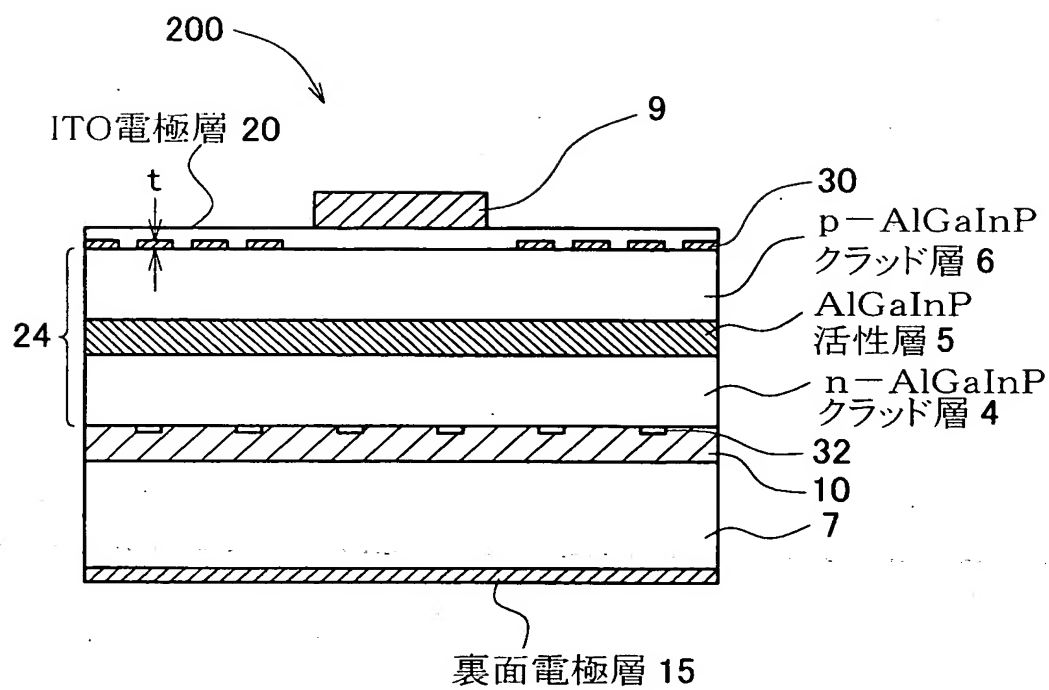
【図 4】



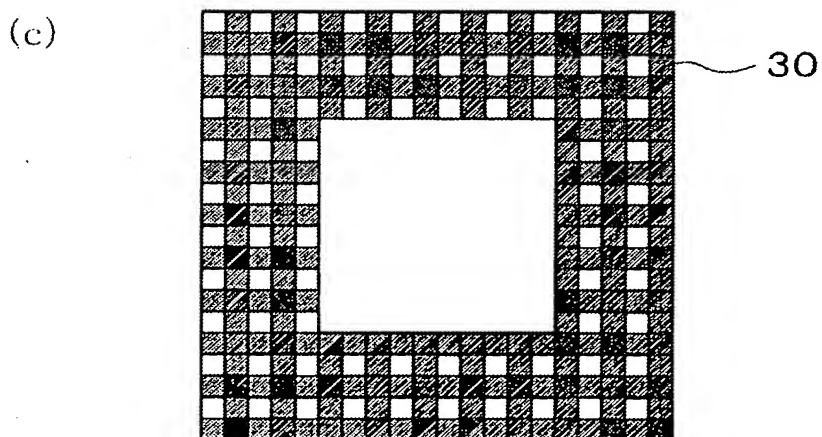
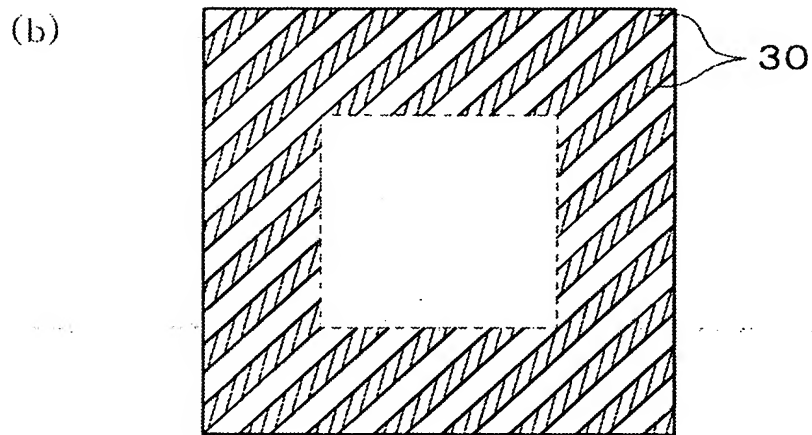
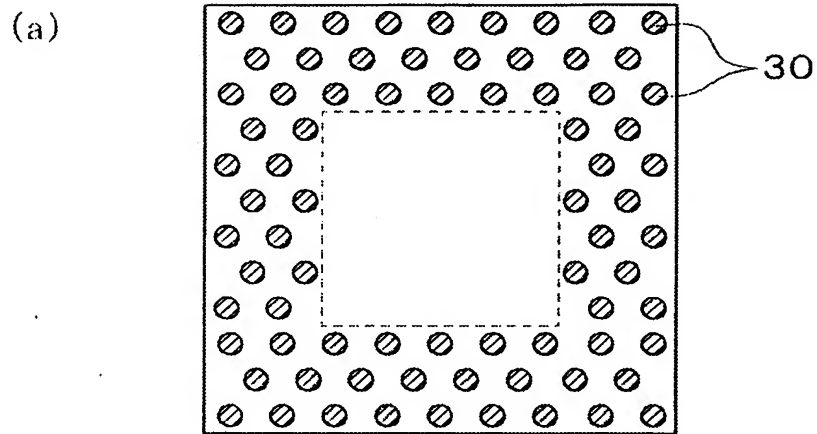
【図 5】



【図6】

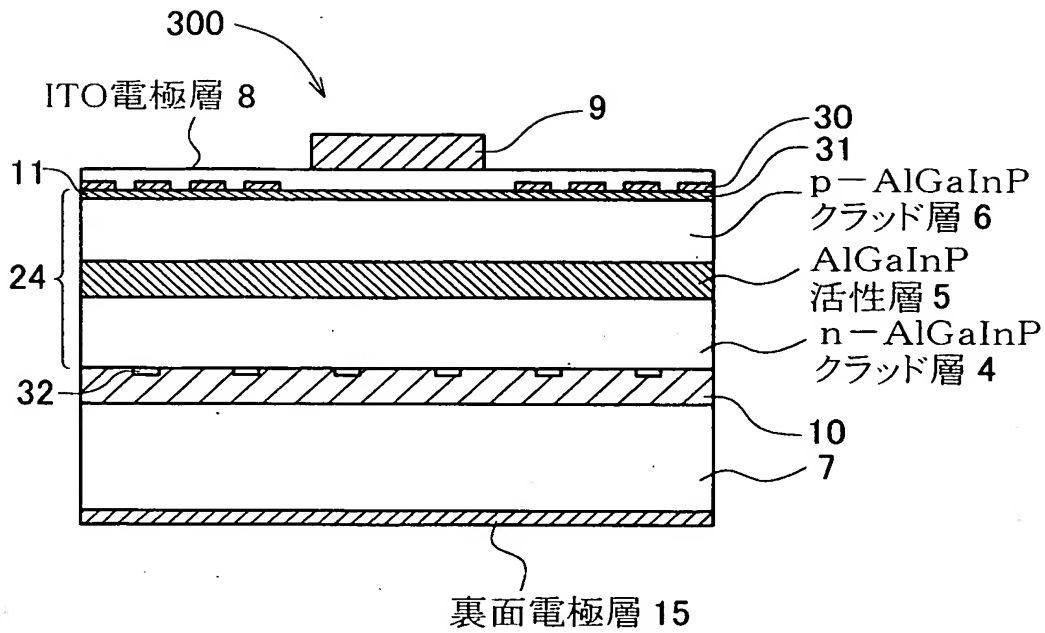


【図 7】

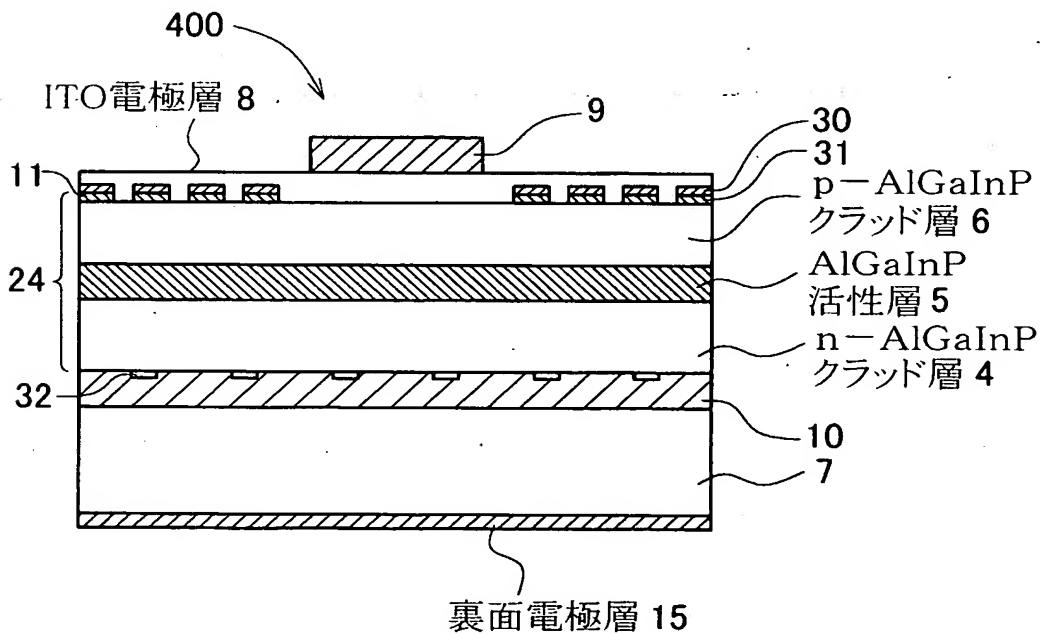




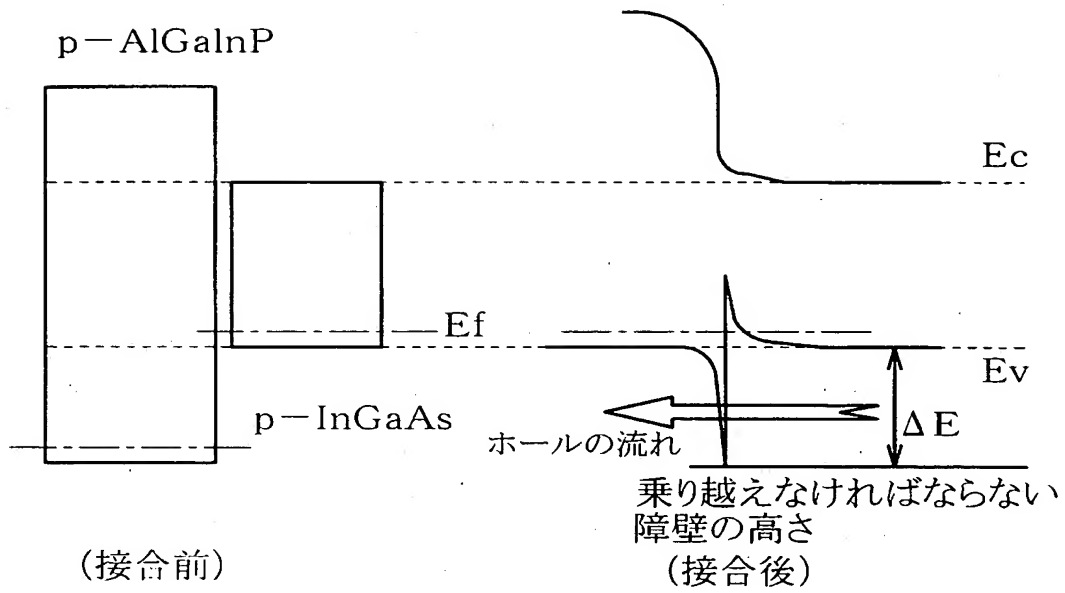
【図 8】



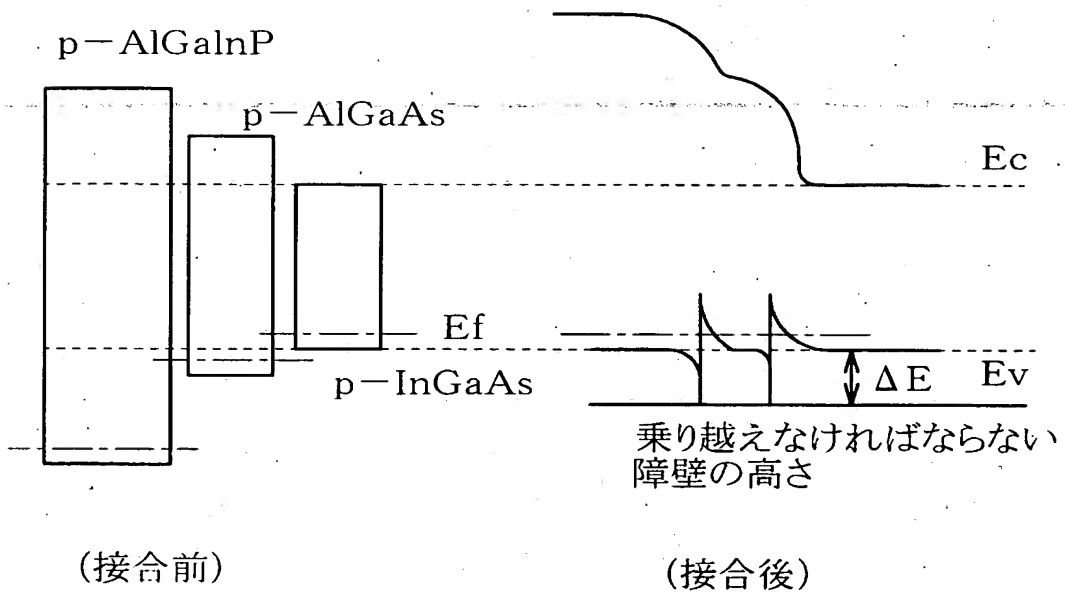
【図 9】



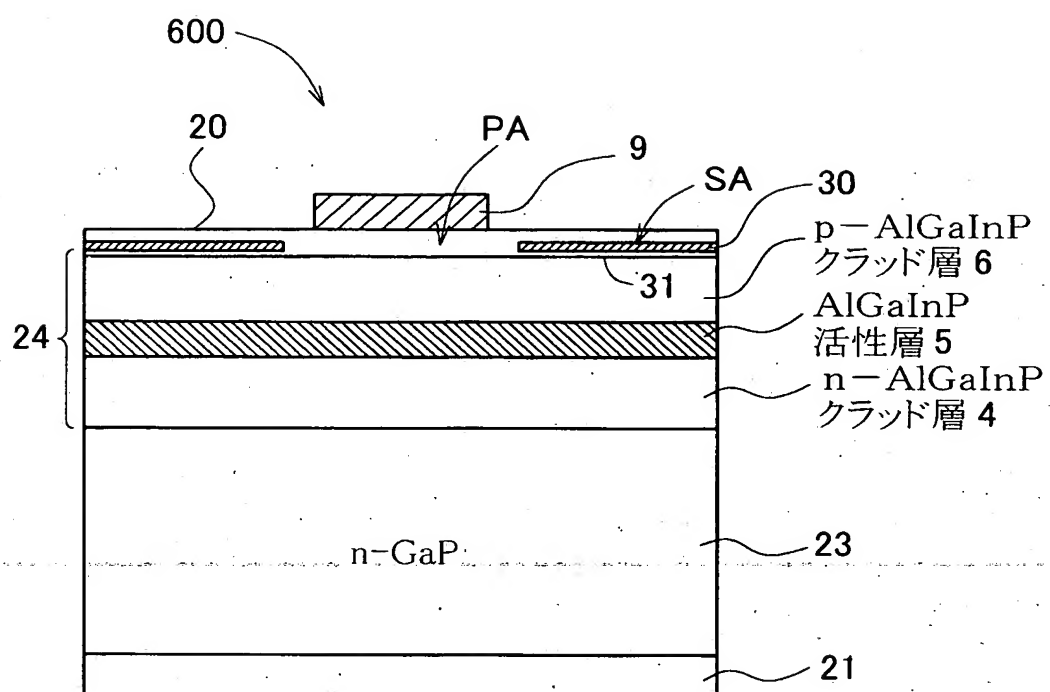
【図10】



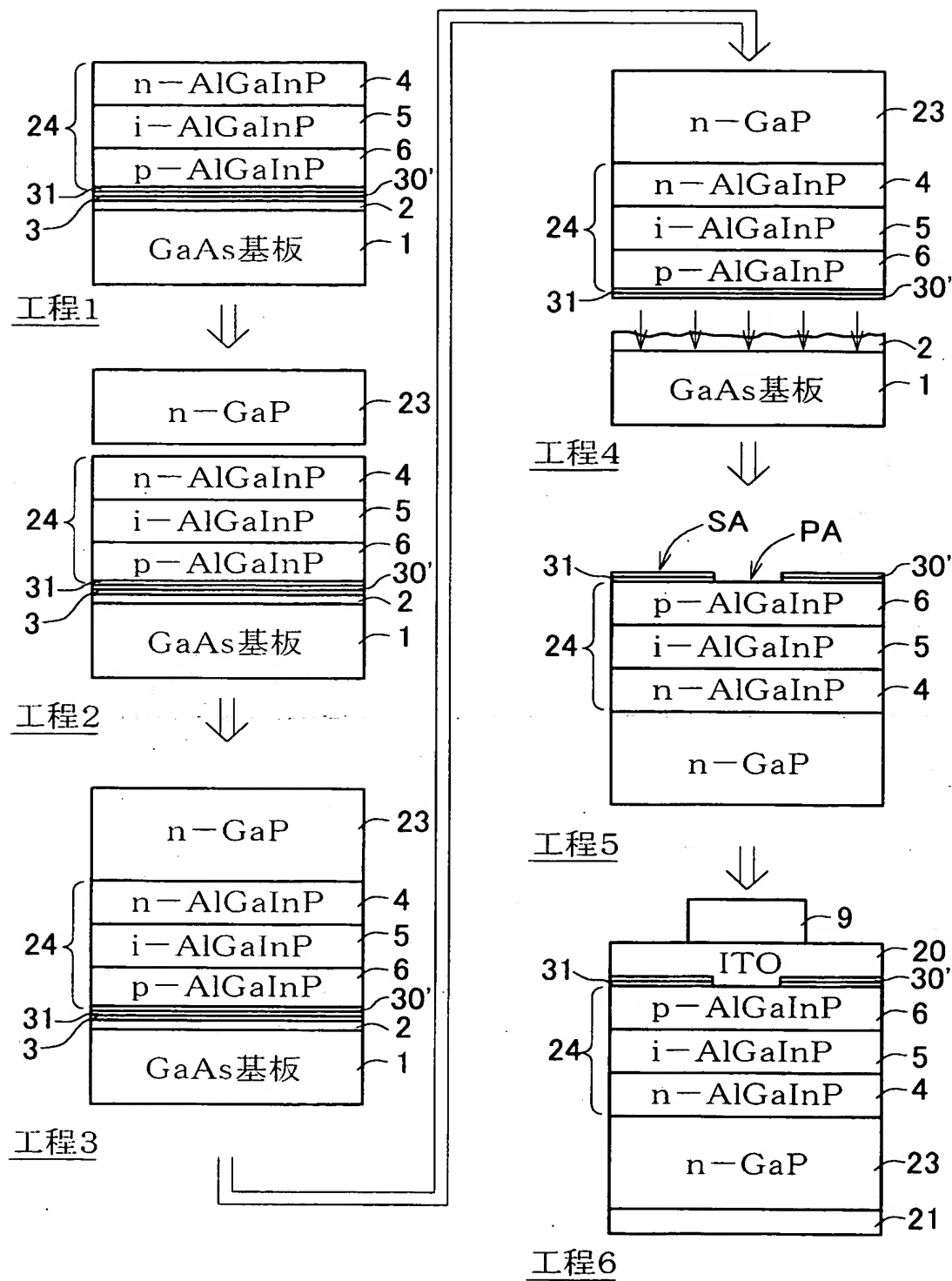
【図11】



【図 12】



【図13】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 発光層部から発光層成長用基板を剥離して発光素子を製造する際に、光取出面となる剥離面側に電流拡散層を前もって厚く成長する必要がなく、しかも高い電流拡散効果を維持できる発光素子の製造方法を提供する。

【解決手段】 発光層成長用基板 7 の主表面 MP 2 に、化合物半導体よりなる発光層部 24 をエピタキシャル成長し、次いで発光層部 24 から発光層成長用基板 7 を剥離する。そして、発光層成長用基板 7 の剥離により露出した発光層部 24 側の主表面を剥離側主表面 MP 4 として、当該剥離側主表面 MP 4 を、発光層部 24 に対して電圧を印加するための電極となる透明導電性酸化物層 20 にて被覆する。

【選択図】 図 2

特願 2 0 0 2 - 3 0 8 9 5 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 1 9 0 1 4 9 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 7 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区丸の内 1 丁目 4 番 2 号

氏 名

信越半導体株式会社

特願 2002-308956

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[501045021]

1. 変更年月日 2001年11月 8日  
[変更理由] 名称変更  
住 所 東京都三鷹市下連雀3丁目38番4号  
氏 名 株式会社ナノテコ
2. 変更年月日 2002年 1月25日  
[変更理由] 住所変更  
住 所 東京都三鷹市下連雀3丁目38番地4号 三鷹産業プラザ40  
8  
氏 名 株式会社ナノテコ